

YBCO PLD 타겟에 BZO 나노분말 첨가에 따른 PLD-YBCO 박막의 자속고정 효과

송규정, 고락길, 이영석, 박유미, 양주생, 김호섭, 하홍수, 하동우, 김석환, 오상수, 김덕진*, 박찬*, 유상임*
한국전기연구원, 서울대학교*

The Effect of the Addition of BZO Nanopowder in the YBCO PLD Targets on the Flux Pinning Properties of BZO-YBCO Thin Film

K. J. Song, R. K. Ko, Y. S. Lee, Y. M. Park, J. S. Yang, H. S. Kim, H. S. Ha,
D. W. Ha, S. W. Kim, S. S. Oh, D. J. Kim*, C. Park* and S-I Yoo*
Korea Electrotechnology Research Institute, Seoul National University*

Abstract : BaZrO₃ nanopowder was added to YBCO powder to make (BaZrO₃)_x(YBCO)_{(100-x)mol.-%} (BZO_x-YBCO) (0≤x≤10) composite targets for pulsed laser deposition of superconducting layer in order to investigate the effect of the addition of BZO nanopowder in the YBCO target on the flux pinning properties of BZO_x-YBCO thin films. All the BZO_x-YBCO thin films were grown on single crystal STO substrate under similar conditions in the PLD chamber. The effect of YBCO targets doped with BZO on the flux pinning properties of BZO_x-YBCO thin films has been investigated comparatively. The isothermal magnetizations *M*(*H*) of the films were measured at temperatures between 5 and 80 K in fields up to 5 T, employing a PPMS. The optimal amount of BZO nanopowders in BZO_x-YBCO thin films to obtain the strongest flux pinning effects at high magnetic fields is about 6 mol.-%.

Key Words : Flux pinning effect, PLD, BaZrO₃ nanopowder, BZO-YBCO thin film

1. 서 론

1986년 처음으로 고온초전도체가 세상에 처음 알려진 이후⁽¹⁾, 많은 연구 그룹들의 노력으로 2001년 제1세대 고온초전도 선재로 알려진 Bi-2223 PIT 선재의 상용화에 이어, 제2세대 고온초전도 선재인 ReBCO 박막선재(Coated Conductor)의 상용화가 목전에 두고 있다. 최근 일본 SRL 연구그룹은 세계 최고인 212m 길이의 245A/cm-w 성능을 가지는 YBCO 박막선재를 개발하였음을 보고하였다⁽²⁾. 따라서 제1세대 Bi-2223 PIT 선재보다 훨씬 경제적이고 성능이 우수한 제2세대 YBCO 박막선재를 이용한 초전도 전력기기 연구개발이 활발히 진행될 것이나, 고온초전도 박막선재의 자기장 특성이 우수하여야 한다.

일반적으로 초전도 선재의 자기장 특성을 향상시키는 방법으로 Flux Pinning(자속고정) 방법이 있는데, 초전도 내부에 자연적 및 인위적인 방법으로 생성되는 결함들에 자기장이 Pinning(고정) 되는 현상을 이용하는 것이며, 자기장이 Pinning되는 결함들을 우리는 Pinning Center(고정중심)라고 부른다⁽³⁾. 그리고 고온초전도 박막선재 내에 이상적인 Pinning Center들을 형성하는 방법으로 나노분말첨가, 다층박막제조, 및 희토류 이온들의 치환 방법 등이 있는데, 비교적 경제적이고 손쉬운 나노분말 첨가 방법이 각광을 받고 있다.

따라서 본 연구에서는 고온초전도 YBaCu₂O_{7-y}와 상호 친화력이 있는 BaZrO₃ 나노분말을 이용하여, BZO_x-YBCO 박막의 BZO 나노분말 첨가 양에 따른 flux pinning 효과 연구를 하였다.

2. 실험

YBCO 분말에 BZO 나노분말을 혼합하여, ball-milled, ground, 및 pellet으로 압착하고, 최종적으로 열처리를 한 후, 직경이 1-inch 크기인 (BaZrO₃)_x(YBCO)_{(100-x)mol.-%} (BZO_x-YBCO) (0≤x≤10) PLD 타겟들을 제조하였다.

PLD 증착방법으로 Lambda Physik 회사제품이고 파장이 248nm인 LPX220i 80W KrF Excimer Laser를 사용하여, PLD 챔버 내의 같은 증착조건에서 단결정 STO위에 모든 BZO_x-YBCO 박막들을 성장시켰다. 증착조건으로 300mTorr 산소분압 하에 820°C 증착온도를 유지하고 15분간 증착하였는데, 기판과 타겟 간의 거리가 4.5cm이고 레이저 에너지는 10Hz의 Pulsed Repetition Rate로 1.1Watt 정도이었다.

준비된 BZO_x-YBCO 박막들의 BZO 첨가양에 따른 Flux Pinning 효과를 확인하기 위한 실험으로, 미국 Quantum Design 회사의 PPMS-9T 장비를 이용하여 각각의 BZO_x-YBCO 박막들에 대한 초전도상태의 자화도(Magnetization) 특성을 조사하였는데, 자기장의 변화에 따른 자화도 실험을 5K부터 80K까지 온도범위에서 자기장을 5T까지 변화시키면서 실험을 하였으며, 측정된 자화도 값을 Bean Critical State 모델⁽⁴⁾에 적용하여 BZO_x-YBCO 박막들의 임계전류밀도 *J_c* 값을 예측하였다.

3. 결과 및 검토

그림 1은 *J_c*(*H*)/*J_c*(0)의 자기장(*H*) 의존성 관계에서 온도 *T*=5K일 때와 *T*=60K일 때 실험결과를 보여주고 있다. 온

도 $T=5K$ 저온일 때, BZO_6 - 및 BZO_{10} -YBCO 박막들의 $J_c(H)/J_c(0)$ 감소율이 BZO_0 -YBCO에 비하여 현저하게 작음을 알 수 있는데, 이는 저온에서 BZO_6 - 및 BZO_{10} -YBCO 박막들의 Flux Pinning 효과가 다른 박막들에 비하여 매우 큼을 예측할 수 있다. 그러나 온도 $T=60K$ 고온일 때, 모든 박막들의 $J_c(H)/J_c(0)$ 감소율이 대체적으로 비슷하나, 저온의 경우와는 다르게 BZO_4 -YBCO 박막의 Flux Pinning 효과가 전체적으로 약간 우수함을 확인할 수 있다.

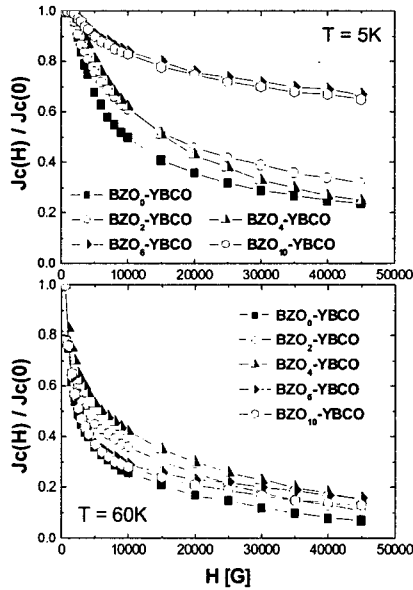


그림 1. $J_c(H)/J_c(0)$ vs. H at $T=5K$ and $60K$.

그림 2는 온도 $T=5K$ 및 $60K$ 일 때, BZO_x -YBCO 박막들에 대한 임계전류밀도(J_c)의 자기장(H) 의존성관계와 아울러 자기장 $H=4T$ 일 때, BZO_x -YBCO 박막들에 대한 임계전류밀도(J_c)의 온도(T) 의존성관계 등의 실험결과들을 보여 주고 있다.

그림 1에서 예측하였듯이, 그림 2의 임계전류밀도(J_c)의 자기장(H) 의존성관계 실험결과로부터, 우리는 $T=5K$ 저온에서 BZO_6 -YBCO 박막시료가 고자기장 영역에서 Flux Pinning 효과가 현저하게 크게 나타남을 분명히 알 수 있으나, $T=60K$ 고온에서 BZO 나노분말의 첨가량이 6mol.-% 이상이면, 순수 YBCO에 비하여 초전도 자기장 특성이 오히려 저하되고, BZO 나노분말의 첨가량이 4mol.-% 박막시료의 Flux Pinning 효과가 다소 있음을 알 수 있다.

그러나 자기장 $H=4T$ 일 때, BZO_x -YBCO 박막들에 대한 임계전류밀도(J_c)의 온도(T) 의존성관계 실험결과로부터, 우리는 고자기장 및 저온영역에서 BZO_6 -YBCO 박막시료의 Flux Pinning 효과가 전체적으로 다른 박막시료들의 결과에 비하여 현저하게 큼을 확인할 수 있는데, 최적의 Flux Pinning 효과를 얻기 위한 최적의 Pinning Center들의 형성은 6mol.-% BZO 나노분말을 첨가함으로써 얻을 수 있음을 분명히 예측할 수 있다.

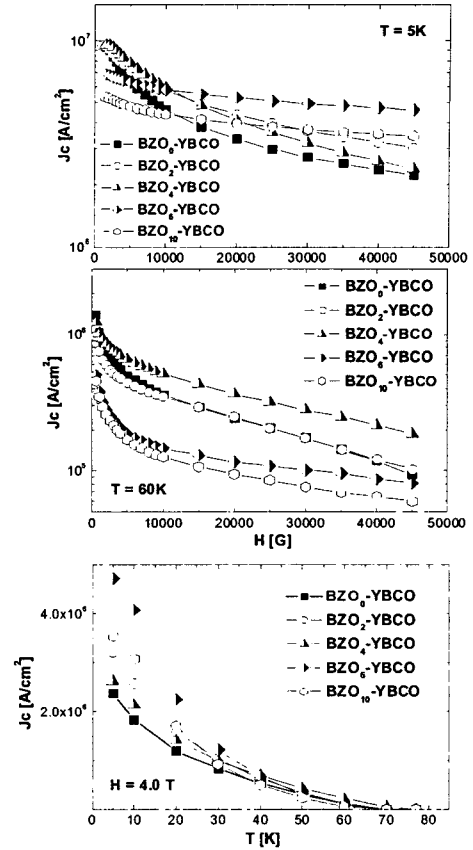


그림 2. J_c vs. H at $T=5K$ and $60K$, and J_c vs. T at $H=4T$.

4. 결론

본 연구에서는 BZO_x -YBCO 박막들의 BZO 나노분말들의 첨가에 따른 Flux Pinning 효과를 연구하였는데, 4-6mol.-% BZO 나노분말을 첨가하였을 때, 전체적으로 Flux Pinning 효과가 현저하게 나타났으며, 특히 3T 이상의 고자기장 및 30K 미만의 저온영역에서, 이상적인 Flux Pinning 효과를 얻기 위한, 최적의 BZO 나노분말들의 첨가량은 약 6mol.-%임을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 21세기프런티어 차세대초전도응용기술개발(CAST) 연구비 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

- [1] J. G. Bednorz, K. A. Muller, Z. Phys. B64, 189, 1986.
- [2] Y. Shiohara, in EUCAS (Sep. 11~15. 2005, Vienna, Austria), presented the recent result of SRL in Japan.
- [3] G. Blatter, M. V. Feigel'man, V. B. Geshkenbein, A. I. Lakin, V. M. Vinokur, Rev. Mod. Phys. Vol. 66, 1125, 1994.
- [4] C. P. Bean, Rev. Mod. Phys. Vol. 36, 31, 1964.